

低・高拘束圧下での土の変形特性

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 ○篠田 昌弘

正会員 室野 剛隆

1．はじめに

1995年の兵庫県南部地震以降、鋼・RC構造物に対する設計地震動（レベル2地震動）として非常に高い設計地震動が採用された。新たに設定された設計入力地震動に対して構造物が十分な耐震性能を発揮できるかどうかは、応答解析を行って各種の応答値を求め、これに対して構造物が安全に耐えうるかどうかを確かめることによって検討される。その際に、地盤の変形特性を考慮する必要があるが、レベル2地震動を採用するにあたり、地中深くの土の変形特性も考慮する必要がでてきた。しかしながら、高拘束圧下での土の変形特性は十分に把握できていない。本研究では、特に高拘束圧下での土の変形特性を明確にすることを目的とする。また、上記検討で得られた結果を解析で容易に利用できるように、算定式を提案する。

2．三軸圧縮試験装置

本実験の特徴は、非常に高い拘束圧下での実験を行うところにある。通常は1次圧を供給するコンプレッサーの最大圧力が7 kgf/cm²と所定の拘束圧が得られないため、このコンプレッサーと高圧空気圧のタンクとの間に増幅装置を設置することにより、高拘束圧下での載荷を可能にした。載荷装置には、高拘束圧下においても十分な載荷能力のある載荷装置と耐圧30 kgf/cm²の亚克力製のセルを使用した。所定の拘束圧を加えるために、セル内を一旦水で満たした後に中圧水タンクに接続し、このタンクに高圧圧力制御弁により高い空気圧を加えた。

3．実験方法

供試体作成方法は、試料によって異なる。以下、それぞれの試料ごとの供試体作成方法について述べる。豊浦砂の場合、事前に測定した乾燥密度（1.645 g/cm³）と含水比（0.176%）から締め固め度が90%になるように一層あたりの重量（198 g）を算定して、5層に分けて突き固め法により供試体を作成した。礫混じり細粒分質砂の場合、事前に測定した乾燥密度（1.549 g/cm³）と含水比（24.32%）から締め固め度が90%になるように一層あたりの重量（230 g）を算定して、5層に分けて突き固め法により供試体を作成した。相模原堆積泥岩の場合、φ68mmのコアサンプリングされた試料を切断機で高さ150mmに成形した後に、試料切断面の凹凸をなくすため、端面を石膏でキャッピングした。人工砂岩の場合、コアサンプリングされたものがなかったため、相対密度60%で一軸圧縮強20 kg/cm²程度の強度発現を目的とした配合（豊浦標準砂：66.3%、普通ポルトランドセメント：10%、ベントナイト：5%、蒸留水：18.7%）を行い、セメント改良砂による人工砂岩を作成した。人工砂岩の養生については、期間を7日間として、水槽中で水中密封養生をおこなった。供試体設置後、豊浦標準砂、礫混じり細粒分質砂では二酸化炭素供給、相模原堆積泥岩と人工砂岩では二重負圧法を実施した。二酸化炭素供給は30分、二重負圧法は約15時間行った。供試体を飽和させるために、豊浦標準砂と礫混じり細粒分質砂では60分の通水を行い、相模原堆積泥岩とセメント改良砂は、負圧状態60分、正圧状態60分、計120分通水した。次に背圧を200kPaに加圧した後に、相模原堆積泥岩と人工砂岩においては、加圧後、均一に圧力がかかるまで60分間放置した。供試体の飽和度については、B値が0.95以上であることを確認した。飽和度の確認後、低・高拘束圧下での圧密を約15時間行った。単調載荷試験では $K=1.0$ で圧密を行った。また、繰返し載荷試験では、豊浦標準砂と礫混じり細粒分質砂は $K=1.0$ 、相模原堆積泥岩と人工砂岩は $K=0.5$ で圧密を行った。載荷速度は、非排水単調載荷試験、非排水繰返し載荷試験ともに0.05%/minで行った。

キーワード 動的性質，高拘束圧，せん断剛性，減衰率，せん断ひずみ

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 （財）鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

4. 試験結果

図1から図4に各試料の繰返し時の変形特性を示す。豊浦標準砂は低拘束圧下では拘束圧依存性が見られるが、高拘束圧になると拘束圧に依存していないのが分かる。これは、高拘束圧下では粒子破碎の影響により変形特性に変化がないと考えられる。礫混じり細粒分質砂でも同様な傾向が見られ、1000 kPa から 1500 kPa では拘束圧依存性が確認できるが、1500 kPa から 2000 kPa では拘束圧の影響は少ないようである。相模原堆積泥岩においては、低拘束圧から高拘束圧にわたって拘束圧依存性が確認でき、拘束圧が高いほど変形性が低くなる。特に、2000 kPa での高拘束圧下ではせん断剛性の低下がほとんど見られず、繰返し载荷時の変形性はひずみレベル依存性がなく、弾性的であると言える。一方、人工砂岩においては、低拘束圧から高拘束圧にわたって若干ではあるが拘束圧依存性が確認できる。相模原堆積泥岩と比較すると、人工砂岩のほうが繰返し载荷時の非線形性が強く、高拘束圧下であってもひずみレベル依存性が確認できる。

5. 考察とまとめ

安田・山口(1985)は、約 100 供試体での試験結果をまとめて、平均有効主応力 p' 、平均粒径 D_{50} 、から $G/G_0 \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ 関係を推定する式(1)と(2)を提案した。

$$\frac{G}{G_{\gamma=10^{-6}}} = (A_1 + A_2 \log D_{50}) \times p'^{(B_1 + B_2 \log D_{50})} \quad (1)$$

$$h = (C_1 + C_2 \log D_{50}) \times p'^{(D_1 + D_2 \log D_{50})} \quad (2)$$

ただし、 p' ：平均有効拘束圧、 D_{50} ：平均粒径である。ここでは、上記算定式に基づいて、試算値で平均粒径 D_{50} を別途求め、この値に対して式(1)および式(2)の係数を実験結果と整合するように定めた。算定結果を図1から図4に実験結果と併せて示した。算定結果は実験結果と概ね整合しており、これらの算定結果を用いることで深い位置での地盤の拘束圧依存性と非線形性を考慮できると思われる。

6. 謝辞

本研究は国土交通省からの補助金を受けて得られた研究成果の一部である。

参考文献

安田・山口(1985)：「種々の不攪乱土における動的変形特性」，第20回土質工学研究発表会（名古屋），昭和60年6月

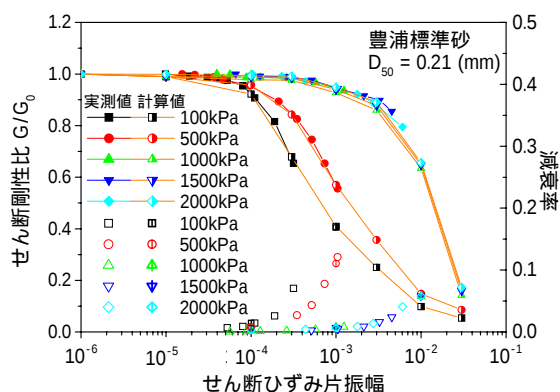


図1 豊浦標準砂の変形特性

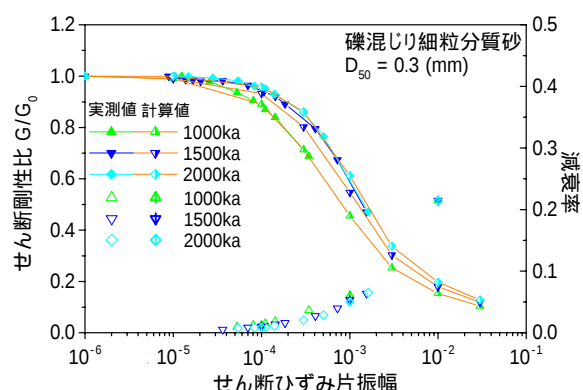


図2 礫混じり細粒分質砂の変形特性

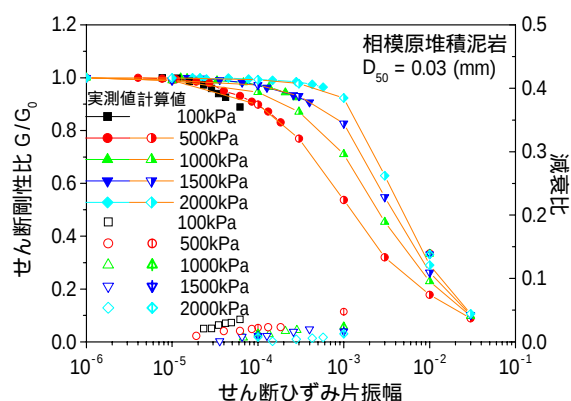


図3 相模原堆積泥岩の変形特性

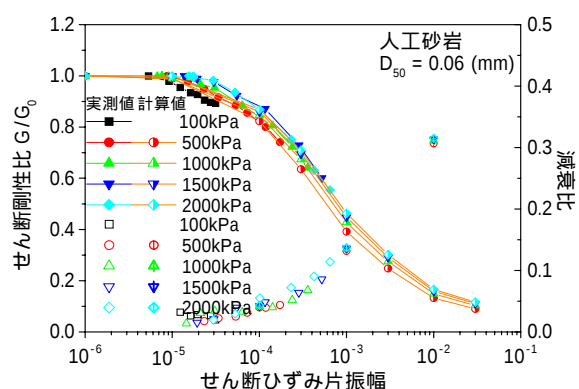


図4 人工砂岩の変形特性